



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Reeta Kekäläinen

CLT-RAKENTAMINEN

Tekniikan yksikkö
2015

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Reeta Kekäläinen
Opinnäytetyön nimi	CLT-rakentaminen
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	37 + 4 liitettä
Ohjaaja	Heikki Paananen

Opinnäytetyöni käsittelee CLT rakentamista kaikissa eri vaiheissa. CLT koostuu ristikkäin liimatuista lamelli- eli puulevykerroksista. Olen tutkinut CLT:n valmistamista ja tutustunut Suomen ensimmäiseen CLT-levytehtaaseen, joka sijaitsee Kemissä Ammattiopisto Lappian tiloissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä kattava tietopaketti CLT:stä eli ristiinliimatuista puusta (Cross laminated timber), koska rakennustapana se on vielä melko uusi ja Suomessa harvinainen. Lisäksi työssä esitellään uusia CLT:stä kehitettyjä rakenteita, kuten CLT-kennorakenne. Opinnäytetyössäni käsitellään myös Kemiin rakennettua CLT koetaloa, sen rakenteita ja liitoksia.

Seinärakenteita tutkiessa käytin apunani D.O.F-tech-ohjelmaa, jolla voidaan arvioida rakenteen kosteus- ja lämpökäyriä, U-arvoa, kondensaatiomäärää sekä energiankulutusta. Opinnäytetyössäni tutkin koetalon seinärakenteet ja uudet CLT:stä kehitellyt rakenteet.

Opinnäytetyössäni käsittelin myös rakennusfysiikasta lämmön ja kosteuden siirtymistä. Lisäksi esittelin CLT-rakenteiden mitoitus- ja rakennusmääräyksiä. Määräykset ovat RIL 205-1-2009-ohjeeseen tulevia päivityksiä.

Opinnäytetyön tekeminen alkoi materiaalien etsimisellä ja aiheeseen tutustumisella. CLT on Suomessa vielä niin uusi rakennusmateriaali, ettei siitä löydy juurikaan kokemuksia eikä kirjallisuutta. Materiaalina CLT on todella potentiaalinen ja uskonkin sen löytyvän tulevaisuuden rakentamiskannasta.

ABSTRACT

Author	Reeta Kekäläinen
Title	CLT-building
Year	2015
Language	Finnish
Pages	37 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Heikki Paananen

The focus of my thesis is on the CLT building system. CLT is made of laminated layers of wood stacked and glued together in right angles. The aim of this thesis was to make a comprehensive summary of cross-laminated timber (CLT), as this construction method is still relatively new and rarely used in Finland. For that purpose the first Finnish CLT board plant located at the premises of Vocational College Lappia, Kemi was visited. In addition, this thesis introduces some new structures developed from CLT, such as a CLT comb structure. Additionally, the experimental CLT house built in Kemi, including its structures and joints, is discussed.

While studying wall structures the D.O.F.-tech software was utilized, which can be used to evaluate the structure humidity and temperature curves, the U-value, amount of condensation and energy consumption. In the thesis the wall structures of the experimental house were studied as well as the new structures developed from CLT.

Building physics related topics were also assessed, such as heat and moisture transfer. In addition, the dimensional and building regulations of the CLT structures are also presented. The regulations are updates, which will be included in RIL 205-1-2009.

A material search was conducted first and together with a familiarization with the topic in general. In Finland, CLT is still a fairly new building system and thus the available literature and user experiences are very limited. In my opinion, CLT has a lot of potential as a construction material and thus I believe that it will become much more common in the future.

Keywords	CLT, CLT comb structure, D.O.F-tech, cross laminated timber,
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	CLT-RAKENTAMINEN.....	9
2.1	CLT ja sen historia.....	9
2.2	Käyttömahdollisuudet.....	10
2.3	Tuotanto	10
2.4	Valmistus	11
2.5	CLT Suomessa	14
2.6	CLT maailmalla	15
2.7	Miksi CLT.....	15
3	CLT:STÄ KEHITETTYJÄ RAKENTEITA.....	17
3.1	CLT-kennorakenne	17
3.2	CLT-sandwich.....	18
4	RAKENNERATKAISUT	19
4.1	Yläpohja.....	19
4.2	Välipohja.....	19
4.3	Alapohja.....	20
4.4	Ulkoseinä	20
5	LIITOSTYYPIT	23
5.1	Alapohja.....	23
5.2	Nurkka.....	25
6	RAKENTEIDEN MITOITUS- JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET	27
6.1	Mitoitusperiaatteet	27
6.1.1	Ominaisarvoja:	27
7	RAKENNUSFYSIKKA	29
7.1	Lämmön siirtyminen.....	29
7.2	Kosteuden siirtyminen	30
7.3	D.O.F-tech.....	30
7.3.1	CLT-kennorakenne	30

7.3.2	CLT-sandwich.....	31
7.3.3	CLT-koetalon ulkoseinä yksi (1)	31
7.3.4	CLT-koetalon ulkoseinä kaksi (2).....	32
8	YHTEENVETO	34
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1.	Valmis koetalo	s. 8
Kuva 2.	Kaksi CLT-levyä	s. 9
Kuva 3.	Höyläkone GN-5S23CE	s. 12
Kuva 4.	CLT-puristin	s. 12
Kuva 5.	Liimoitin Oest OA 100 T	s. 13
Kuva 6.	CNC-ohjattu työstökeskus Routech area	s. 13
Kuva 7.	Kesän Sauna	s. 14
Kuva 8.	CLT-kennorakenne	s. 17
Kuva 9.	CLT-kennorakenne ilman eristettä	s. 18
Kuva 10.	CLT-sandwich	s. 18
Kuva 11.	CLT-koetalon yläpohja	s. 19
Kuva 12.	CLT-koetalon välipohja	s. 20
Kuva 13.	CLT-koetalon alapohja	s. 20
Kuva 14.	CLT-koetalon ulkoseinä 1	s. 21
Kuva 15.	CLT-koetalon ulkoseinä 2	s. 22
Kuva 16.	Sherpa-kiinnike	s. 23
Kuva 17.	Nurkkaliitos Sherpa-kiinnikkeellä	s. 23
Kuva 18.	CLT-koetalon alapohjan liitos ulkoseinään 1	s. 24
Kuva 19.	CLT-koetalon alapohjan liitos ulkoseinään 2	s. 24

- Kuva 20.** CLT-koetalon nurkkaliitos ulkoseinissä 1 s. 25
- Kuva 21.** CLT-koetalon nurkkaliitos ulkoseinissä 2 s. 26

LIITELUETTELO

LIITE 1. CLT-kennorakenne

LIITE 2. CLT-sandwich

LIITE 3. CLT-koetalon ulkoseinä 1

LIITE 4. CLT-koetalon ulkoseinä 2

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni on toteutettu toimeksiantona Ammattiopisto Lappian CLT-elementtivalmistuksen ja -rakentamisen oppimisympäristölle. Kemissä Sammonkadulla sijaitseva oppimisympäristö on laajentanut Ammattiopisto Lappian puu- ja rakennusalan koulutustarjontaa.

CLT eli Cross laminated timber on 1990-luvulla kehitetty massiivipuinen rakennusmateriaali. CLT rakentaminen on Suomessa vielä melko uutta ja vähän käytettyä, mutta etenkin Keski-Euroopassa ja Kanadassa CLT:stä on rakennettu jo melko paljon.

Opinnäytetyö käsittelee ristiin liimatun puulevyn eli CLT-levyn valmistamista, rakenneratkaisuja, liitoksia ja rakennusfysiikkaa. Pohjana opinnäytetyössä käytetään Kemin Digipolis-Kampuksen alueelle rakennettua koetaloa. Rakennus on 1 ½ -kerroksinen ja kaikki runkorakenteet ovat CLT-elementeistä. Kuviossa 1 on esitetty CLT-koetalo.



Kuva 1. Valmis koetalo. /24/

2 CLT-RAKENTAMINEN

Tämä luku kertoo CLT-rakentamisesta, sen historiasta, käyttömahdollisuuksista sekä tuotannosta. Lisäksi luvussa tutustutaan CLT:n valmistamiseen.

2.1 CLT ja sen historia

Cross laminated timber eli CLT valmistetaan sormijatketusta lujuuslajitellusta kuusi-, pihta- tai mäntysahatavarasta. CLT kehitettiin Sveitsissä 1990-luvun alkupuolella. CLT on Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa nopeasti kasvava rakennusmuoto, josta myös suomalaiset ovat kiinnostuneet. CLT on erinomainen rakennusmateriaali sen kantavuuden, ekologisuuden sekä lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden takia. /1/

CLT-elementissä lamellin lujuusluokka on jokaisessa kerroksessa C16...C40. Euronormien mukaan kantavan CLT-rakenteen on oltava symmetrinen, jonka johdosta kerroksia on pariton määrä. Yhteensä kerroksia voi olla 3-9. Yleisimmät käytössä olevat kerrosten määrät ovat 3 ja 5. Ympärihöylätyn CLT-laudan paksuus on 14...45mm ja laudan leveys on vähintään neljä kertaa laudan paksuus. Pituutta elementillä voi olla 6-16 m. Koko levyn paksuus voi olla 60-400 mm. Risteävät lautakerrokset CLT:ssä liimataan 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. /2; 15/

Kuviossa 2 on esitetty kaksi eri paksuista CLT-levyä. Toinen on kolmekerroksinen ja toinen viisikerroksinen.



Kuva 2. Kaksi CLT-levyä. /4/

2.2 Käyttömahdollisuudet

Suomessa CLT on vielä melko vähän käytetty rakennusmateriaali. CLT:llä on paljon erilaisia etuja muihin rakennusmateriaaleihin ja menetelmiin verrattuna. CLT:llä on lyhyt pystytysaika, helppo tiiviiden liitosten toteutus, työmaalla helppo työstettävyys, materiaalin keveys ja turvallinen talvirakentaminen, mikä on Suomessa erittäin tärkeä etu. CLT-levyjen ja elementtien ansiosta talon runko voidaan pystyttää jopa päivässä. CLT:n massiivisuus takaa kestävyyttä, paloturvallisuutta, erinomaisen sisäilman ja ääniympäristön. /2/

CLT sopii hyvin puutalon kantavaksi rakenteeksi ja siitä saadaan tehtyä talon ulko- ja väliseinät sekä ala-, väli- ja yläpohjat. CLT on myös helppo yhdistää muihin rakennusmateriaaleihin, joita Suomessa käytetään. CLT-elementtejä voidaan käyttää pientalojen, kerros- ja rivitalojen sekä julkisten rakennusten, liiketilojen ja teollisuushallien rakentamisessa. CLT-rakenteet ovat monipuolisia ja antavat mahdollisuuden jopa erikoiselle arkkitehtuuriselle suunnittelulle. CLT-elementtejä voidaan käyttää myös maisemarakentamisessa esimerkiksi meluaitoina. /1/

2.3 Tuotanto

CLT-levyjen tärkeimpinä etuina ovat ympäristöystävällisyys, nopeus ja edullisuus. Jokainen CLT-elementti valmistetaan mittatilaustyönä asiakkaan toiveiden mukaan ja jokainen valmistettu levy on tarkoitettu tiettyä seinää, yläpohjaa tai alapohjaa varten. Valmiita levyjä ei valmisteta lainkaan varastoitavaksi. CLT-elementtien valmistuskustannukset ovat aikalailla samaa luokkaa kuin betonin ja teräksen, mutta tuotanto- ja rakennusprosessin nopeus edesauttavat sen lopullisen hinnan edullisemmaksi. /3; 16/

CLT-elementteihin voidaan jo valmistusvaiheessa tehdä ikkuna- ja oviaukot, elementtiliitokset sekä LVIS-asennusten vaatimat työstöt. CLT-elementteihin voidaan asentaa tehtaalla valmiiksi myös ulkoverhous, ovet ja ikkunat sekä eriste. Edellä mainituista syistä johtuen työmaalla säästetään aikaa rakennusvaiheessa. Näin ollen CLT-rakentaminen on kokonaisuudessaan kustannustehokkaampi vaihtoehto verrattuna muihin rakennusmenetelmiin. /2/

CLT-elementeillä rakennettaessa sisätiloihin saadaan valmista hienoa puupintaa, joka pystytään maalaamaan, vahaamaan tai jättämään hirsirakentamisen tapaan käsittelemättä. Peitelistoja ei tarvita, koska nurkissa sekä kattojen, seinien ja lattioiden väleissä saumat ovat siistejä ja tiiviitä. /6/

CLT-elementtien valmistuksessa voidaan käyttää nopeasti uusiutuvaa, kestävästi kasvatettua metsäpuuta. Valmistuksessa hukkapuuta ei juurikaan tule, koska lähes kaikki puumateriaali voidaan käyttää hyödyksi. CLT-elementeissä ei käytetä myöskään painekyllästettyä puuta, sillä oikein suunnitellussa ja rakennetussa talossa puu kestää ilman käsittelyä. /6/

CLT:lle ei vielä vaadita CE-merkintää, koska kyseinen standardi on vasta valmis-teilla. CE-merkintä tulee todennäköisesti pakolliseksi kahden vuoden sisällä, jolloin tuotestandardi valmistuu. /2/

2.4 Valmistus

CLT-elementtejä aloitettiin valmistamaan Suomessa, kun Kemiin avattiin Ammattiopisto Lappian tiloihin ensimmäinen CLT-levytehdas. Ammattiopisto Lappian tuotantokoneita ovat Gau Jing 6-karainen höyläkone (Innomac), Ledinek-puristin (Mariocon) ja Routech Area 5-akselinen työstökeskus (Innomac).

CLT-elementin valmistuksessa höyläkoneella höylätään puristettavat lamellit. Puristuslinjalla levyaihiot ladotaan, liimataan ja puristetaan. Liimauksessa käytetään yksikomponenttista polyuretaaniliimaa (PUR-liimaa). Lopussa voidaan CNC-työstökeskuksella valmistaa elementteihin tarvittavat aukoitukset, LVIS-jyrsinnät, mitallistamiset sekä liitostyöstöt. Ammattiopisto Lappialla on mahdollisuus valmistaa jopa 3000*8000*350 mm:n kokoisia elementtejä. Kuvioissa 3-6 on esitelty Ammattiopisto Lappian tuotantokoneet. /7/



Kuva 3. Höyläkone GN-5S23CE. /2/



Kuva 4. CLT-puristin. /2/



Kuva 5. Liimoitin Oest OA 100 T. /2/



Kuva 6. CNC-ohjattu työstökeskus Routech area. /2/

2.5 CLT Suomessa

Suomessa Stora Enso toimitti ensimmäiset CLT-rakennukset, kuten Luontokeskus Haltian, joka on Suomen ensimmäinen massiivipuuelementeistä rakennettu julkinen rakennus. Stora Enson CLT-levyt valmistetaan Itävallassa Bad St. Leonhardin ja Ybbsin yksiköissä. Stora Enso valmistaa kuitenkin itse esivalmistettuja suurelementtejä liike- ja hallirakentamiseen Pälkäneen yksikössä sekä puurakenteisia tilaelementtejä Pälkäneen ja Hartolan yksiköissä. /12; 22/

Ensimmäinen suomalaisista CLT-elementeistä valmistettu rakennus oli Kesän Sauna, joka valmistui kesällä 2014 Tuiran rantaan Ouluun. Kesän Sauna on saunalautta, jonka rungon valmisti Ammattiopisto Lappia.



Kuva 7. Kesän Sauna. Kuva; Sauli Kosonen /17/

Ensimmäinen kotimainen teollisen mittakaavan CLT-tehdas käynnisti toimintansa heinäkuussa 2014 Kuhmossa, Cross Lam Kuhmo Ltd. Tehdas ostaa kaiken käyttämänsä sahatavaran Kuhmon sahalta. /8/

Seinäjoelle 2013 rakennettu kuusikerroksisen CLT-puukerrostalon tilaelementit valmistettiin Stora Enson Hartolan tehtaalla. Seinäjoen kerrostalo oli rakennusvaiheessa yksi suurimpia CLT-asuinkerrostalohankkeita koko Euroopassa. Kerrostalo valmistettiin tilaelementtitekniikalla. /10; 14/

Helsingin Jätkäsaareen kohoaa CLT:stä rakennettu puukaupunkikortteli Wood City. Hanke aloitetaan vuoden 2014 aikana. Hankkeen myötä puu tekee modernin paluun Helsingin kantakaupunkiin ja on samalla näyte suomalaisesta osaamisesta suunnittelun, muotoilun ja rakentamisen osalta. Wood Cityyn on tavoitteena valmistua loppuvuodesta 2015 asuinrakennukset sekä pysäköintitalo ja vuonna 2016 valmistuvat hotelli- ja toimisto-osat. /11/

Maunulaan valmistui loppuvuodesta 2014 Helsingin ensimmäinen CLT-levyistä rakennettu omakotitalo. Talossa on käytetty 100mm paksua CLT-levyä, joka toimii myös rakennuksen jäykistävänä runkona. Levyn ja ulkolaudoituksen välissä on paksu mineraalivillakerros. Talon ulkoseinissä ei ole käytetty muovikalvoa höyrysulkuna, sillä CLT-levy tasaa kosteuden hirsiseinän tavoin. /21/

2.6 CLT maailmalla

CLT kehitettiin 1990-luvun alkupuolella Sveitsissä. Kuitenkin suurin osa maailman CLT-levyistä valmistetaan yhä Itävallassa. Myös Saksa on tunnettu CLT-maa. CLT-rakentamista käytetään paljon etenkin Keski-Euroopassa ja Kanadassa.

Vuonna 2009 valmistui korkein CLT-puurakennus Lontooseen, kun yhdeksänkerroksinen puutalo Stadthaus rakennettiin. Vuonna 2012 Stadthaus menetti tittelinsä korkeimmasta puurakennuksesta, kun Melbourneen rakennettiin kymmenkerroksinen Fortè-talo. Keväällä 2015 myös Lontooseen on valmistumassa kymmenkerroksinen CLT-puurakennus. Maailman korkeimman CLT-puukerrostalon rakennus on alkanut vuonna 2014 Norjan Bergenissä, jonne kohoaa 49 metrin korkuinen, 14-kerroksinen puukerrostalo. /13; 23/

2.7 Miksi CLT

CLT on hyvä rakennusmateriaali monelta eri kantilta. Se on erityisesti luonnonläheinen materiaali. Täällä Suomessa asumme metsien ympäröimänä, eli meillä on varsin paljon puuta, jota on hyvä hyödyntää rakentamisessa. Lisäksi puu on uusiutuva rakennusmateriaali. Puu hyödyntää kasvaessaan ilman hiilidioksidia, joka varastoituu puuhun itseensä. Puu on myös lämmin materiaali, joka on akustisesti ja visuaalisesti todella miellyttävä ja useiden makuun sopiva. Puun ominaisuuks-

siin kuuluu myös huoneilman parantaminen tasaamalla ilmankosteutta ja suodattamalla epäpuhtauksia ilmasta. Puulla on myös psykologisia vaikutuksia kuten lievittää stressiä ja rauhoittaa mieltä, mikä on huomattu myös metsässä kulkiessa. /11/

CLT:stä on nopea rakentaa, joten kustannussäästöt tekevät puuelementteihin perustuvasta runkojärjestelmästä hinnaltaan erittäin kilpailukykyisen. Rakennuksen käyttöönottoa nopeuttaa CLT:n nopea rakennusaika. /11/

Yksi CLT:n valtti on paloturvallisuus. CLT ei pala, vaan se hiiltyy 0,7mm minuutissa. Lisäksi CLT ei konvektioi samalla tavalla kosteutta kuin tavallinen puu, koska se on valmistettu tiiviisti ladotuista puulevyistä. Puun hygroskooppisuuden johdosta vesihöyry ei normaaliolosuhteissa johdu CLT-rakenteen läpi, jonka vuoksi erillistä ilma- ja höyrynsulkua ei tarvita. CLT on myös erittäin jäykkärakenteinen ja kestävä./11/

3 CLT:STÄ KEHITETTYJÄ RAKENTEITA

CLT ja sen valmistaminen tehtaalla on suhteellisen yksinkertaista, joten siitä on aloitettu kehittämään uusia rakenteita erilaisiin käyttötarkoituksiin. Seuraavissa kappaleissa on käyty läpi muutama uusi rakenne-esimerkki.

3.1 CLT-kennorakenne

CLT-kennorakenne on uusi, vuonna 2014 kehitetty rakenne. Siinä käytetään kahta puristettua CLT-levyä (esimerkiksi 15+15+15) joiden väliin puristetaan eristettä (esimerkiksi Finnfoamia 50+50+50). Rakenteen sisällä on myös kevyt puurunko eristeiden välissä. Rakenteen ominaispuristuslujuudeksi kohtisuoraan syitä vastaan voidaan Euronormien mukaan käyttää $2,5 \text{ N/mm}^2$. Tällaisen rakenteen U-arvoksi saadaan $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on testattu D.O.F-tech-lämpöohjelmalla. D.O.F-tech tulokset on esitetty liitteinä.



Kuva 8. CLT-kennorakenne. /24/

CLT-kennorakenteen puristuslujuutta testattiin myös ilman eristettä. Rakenteissa olevissa rima-rima-rajapinnoissa puristuspaine nousi kuitenkin liian suureksi, jolloin syntyi puristumurtuma kohtisuoraan syitä vastaan. Eriste jakaa kuorman tasaisesti, jolloin rakenne kestää kuorman ja pysyy ehyenä.

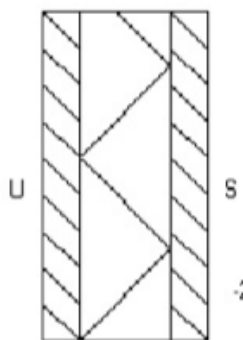


Kuva 9. CLT-kennorakenne ilman eristettä. /24/

Kennoelementtiä on testattu enemmänkin Aalto-yliopistossa Rakennustekniikan laitoksessa, jossa kappale kesti $9,0 \text{ kN/m}^2$ eli 900 kg/m^2 tasaisen kuorman.

3.2 CLT-sandwich

CLT-sandwich rakenteessa on käytetty ulko- ja sisäkuoressa CLT-levyä (esimerkiksi $20+20+20$) ja levyjen välissä eristettä (esimerkiksi Finnfoam 150). Tällaisen rakenteen U-arvoksi saadaan $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka on testattu D.O.F-tech-lämpöohjelmalla. D.O.F-tech-tulokset on esitetty liitteinä.



Kuva 10. CLT-sandwich.

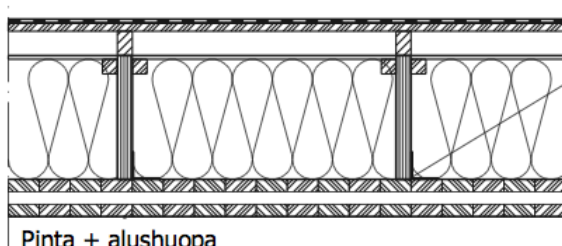
4 RAKENNERATKAISUT

Tämä luku kertoo Ammattiopisto Lappian toteuttaman CLT-koetaloprojektin rakennetyypeistä. Koetalossa on mitattu lämpöä ja suhteellista kosteutta asentamalla taloon 96 anturia. Mittauksia on tehty nyt vuoden ajan ja koetalo on havaittu erittäin ilmatiiviiksi eikä kosteutta ole havaittu lainkaan. Tässä luvussa käsitellään käytettyjä rakennetyyppejä sekä tarkastellaan niiden toimivuutta.

4.1 Yläpohja

Kuviossa 11 on esitetty koetalon yläpohjan rakenne, jossa on käytetty 40/40/40 CLT-levyä. Rakenne on melko tavallinen CLT:n yläpohjan rakenne. Jos rakennetta haluttaisiin parantaa, voitaisiin siihen lisätä jäykistävä rakenne CLT-levyn sisäpuolelle ja palonsuojakipsilevy sisäpintaan.

YP1, yläpohja



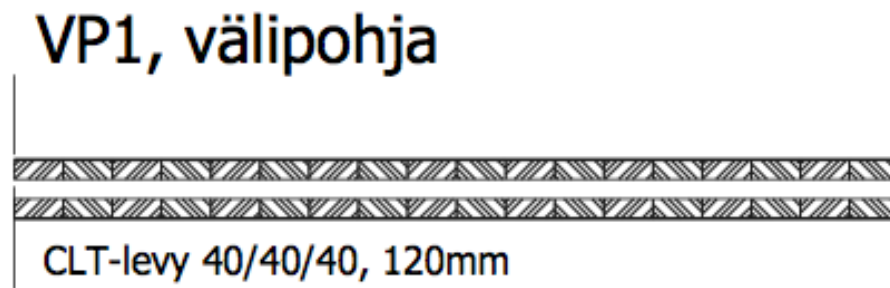
Kattovasat kiinnitetään CLT-levyyn
BMF-90 kulmalevyllä, 3+3 kpl/palkki
ja ankkurinauloilla 40*4, 5+5 kpl/levy

Pinta + alushuopa
Raakapontttilaudoitus RPL 23x95
Tuuletusrakorima 48x73 kattovasojen kohdalle
Tuulensuojalevy kattovasojen väliin, Tuulileijona 12 mm
Kattopalkit 45x400 Kerto-S k 900 + puhallusvilla ~390 mm
CLT-levy 40/40/40, 120mm

Kuva 11. CLT-koetalon yläpohja.

4.2 Välipohja

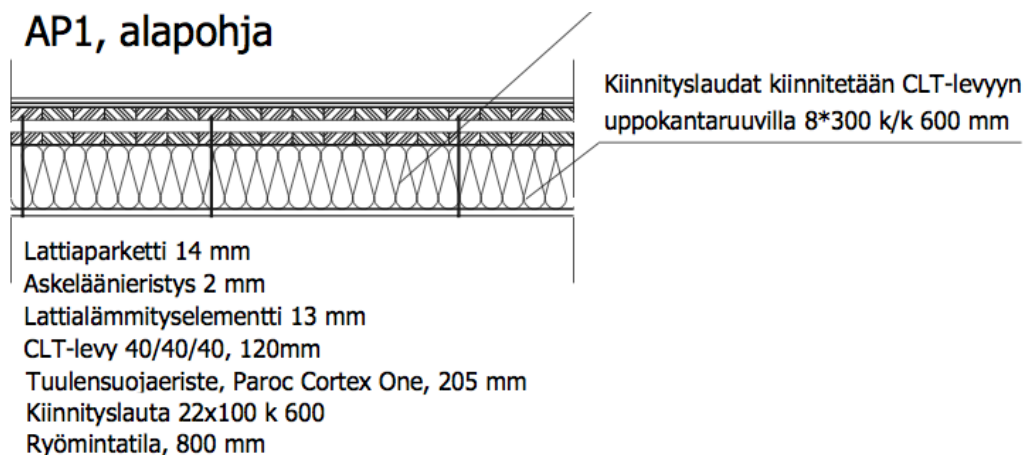
Koetalon välipohjassa on käytetty 40/40/40 CLT-levyä. Välipohja vaikuttaa hienan kevyeltä ratkaisulta ja sitä olisi hyvä vahvistaa, jotta se kestää koko yläkerran kuorman. Välipohjaa voitaisiin vahvistaa lisäämällä äänieriste betonivalulla (esim. 60mm) ja mineraalivillalla (esim. 30mm). Kuviossa 12 on esitetty nykyinen välipohjan rakenne.



Kuva 12. CLT-koetalon välipohja.

4.3 Alapohja

Koetalon alapohja on ryömintätillallinen, 800 mm korkea. Alapohjassa on käytetty 40/40/40 CLT-levyä. Alapohjan rakenne on esitetty kuviossa 13, josta käy ilmi myös CLT-levyn kiinnitystapa.



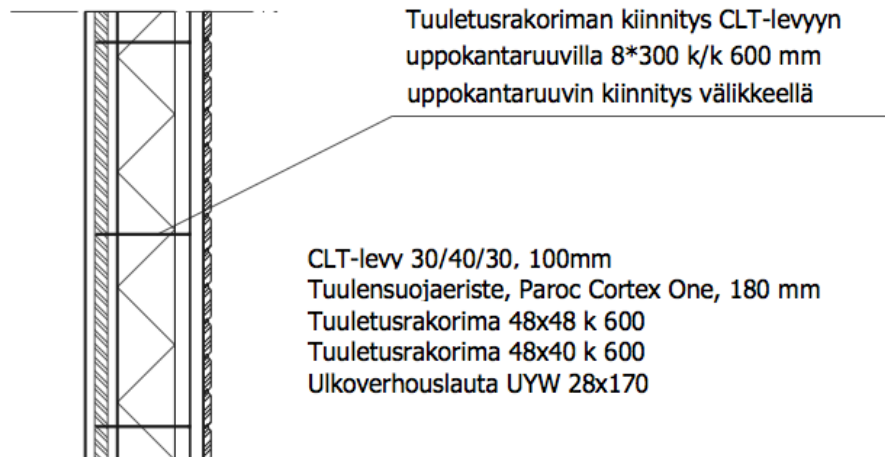
Kuva 13. CLT-koetalon alapohja.

4.4 Ulkoseinä

Kuviossa 14 on esitetty koetalon ulkoseinä yksi (1). Talossa on kokeiltu kahta eri ulkoseinää, jolloin on nähty CLT-levyn käyttäytyminen eri rakenneratkaisuissa. Ulkoseinässä yksi (1) on käytetty sisäpuolella CLT-levyä 30/40/30. Eristeenä on käytetty Paroc Cortex One 180mm. Opinnäytetyössä tein D.O.F-techin DOF-lämpö-ohjelmalla tarkastuksen seinän yksi (1) rakenteesta. U-arvoksi saatiin 0,15 W/m²K, mutta seinässä on tiivistymisvaara tai homevaara tuuletusrakorimojen

kohdalla, kun otetaan huomioon vain ihan pahin tilanne eli vuoden kolme kylmintä päivää. Liitteenä on esitetty D.O.F-tech-tulokset.

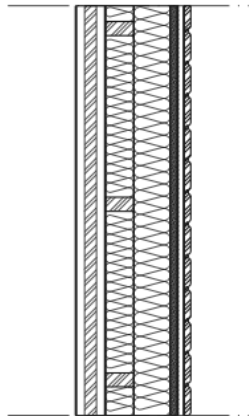
US1, ulkoseinä



Kuva 14. CLT koetalon ulkoseinä yksi (1).

Kuviossa 15 on esitetty koetalon ulkoseinä kaksi (2). Ulkoseinässä kaksi (2) on käytetty sisäpuolella CLT-levyä 30/40/30. Eristeenä on käytetty Ekovillaa. Opin näytetyössä tein D.O.F-techin DOF-lämpö-ohjelmalla tarkastuksen seinän kaksi (2) rakenteesta. U-arvoksi saatiin $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, mutta seinässä on tiivistymisvaara tai homevaara tuuletusrakoriman ja tuulensuojalevyn kohdalla, kun otetaan huomioon vain ihan pahin tilanne eli vuoden kolme kylmintä päivää. Liitteenä on esitetty D.O.F-tech-tulokset.

US2, ulkoseinä



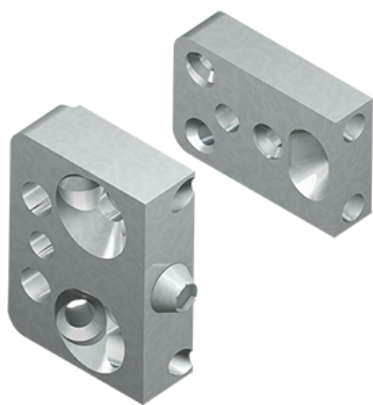
CLT-levy 30/40/30, 100mm
Lämmöneriste, Ekovilla + vaakarunko 42x98 k 600
Lämmöneriste, Ekovilla + pystyrunko 42x123 k 600
Tuulensuojalevy, Runkoleijona 25
Tuuletusrakorima 22x100 k 600
Ulkoerhouslauta UYW 28x170

Kuva 15. CLT koetalon ulkoseinä kaksi (2).

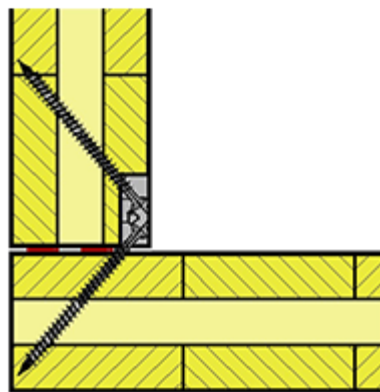
5 LIITOSTYYPIT

Tässä luvussa tutkitaan CLT:n yleisimpiä liitoksia. Liitokset ovat tärkeä osa CLT-rakentamista, joten luvussa käsitellään muutamaa Ammattiopisto Lappian CLT-koetalon liitosta ja niiden toimivuutta.

CLT-elementtien liitokset ovat pääasiassa yksinkertaisia ruuviliitoksia. Ruuveilla voidaan kiinnittää niin pysty- kuin vaakasaumat. Liitoksissa voidaan käyttää myös kulmarautoja ja naulalevyjä. CLT-elementtien kiinnitykseen on kehitetty myös erikoiskiinnikkeitä kuten Sherpa, joka on esitetty alla olevassa kuvassa. Sherpa-kiinnike on vaihtoehtoinen kiinnitystapa ruuvikiinnitysten sijaan.



Kuva 16. Sherpa-kiinnike.



Kuva 17. Nurkkaliitos Sherpa-kiinnikkeellä.

Alla on esitetty Ammattiopisto Lappian toteuttaman CLT-koetaloprojektin liitostyyppejä.

5.1 Alapohja

Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty CLT-koetalon alapohjaliitokset eri seinärakenteille. Mekaanisina kiinnikkeinä liitoksissa on käytetty SPAX-ruuveja. CLT-koetalossa alapohja asetettiin sokkeliin kulmarautoilla kiinnitettyjen alapohjapalkkien päälle.

/19/

Tarkemman tarkastelun jälkeen näyttää siltä, että alapohjan liitoksessa on riski kylmäsillalle. Kylmäsilta on rakenteessa kohta, josta lämpöä vuotaa ulos selvästi

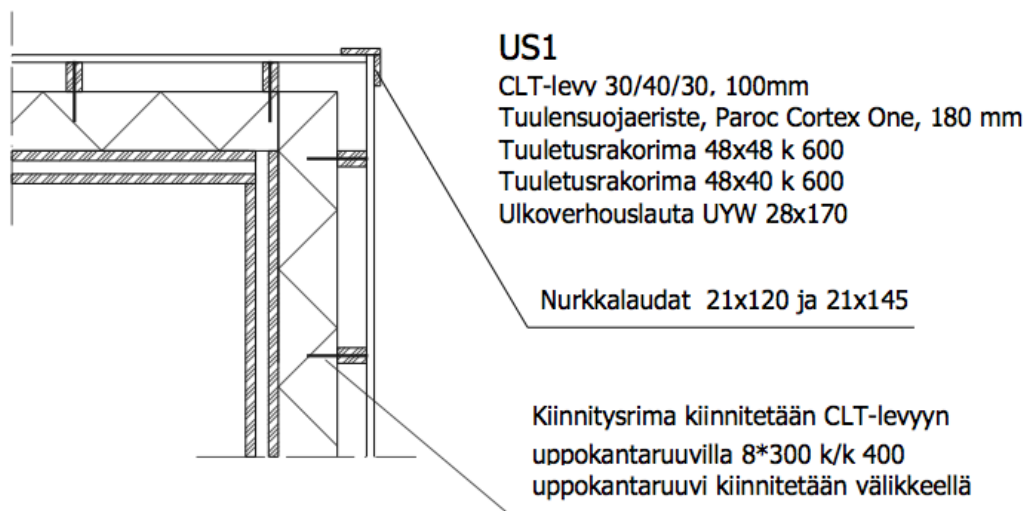
enemmän kuin ympäröivästä rakenteesta. Kylmäsiltojen riski on etenkin nurkissa, sekä seinän ja lattian liitoskohdissa. Kylmäsiltoja muodostaa hyvin lämpöä johtavat rakennusmateriaalit, joten ne eivät saa ulottua asuinrakennuksen vaipparakenteen läpi. Tällaiset rakennusmateriaalit tulisi katkaista lämmöneristeellä. Mikäli kylmäsilta halutaan sulkea pois, täytyisi liitoksesta tehdä varmempia kokeita. /20/

5.2 Nurkka

Kuvioissa 20 ja 21 on esitetty CLT-koetalon nurkkaliitokset eri seinärakenteille. Nurkkien liitoksissa käytettiin Sikaflex-tiivistemassaa, jolla saavutettiin riittävä nurkan ilmatiiveys. Liitoksissa on myös käytetty mekaanisina kiinnikkeinä SPAX-ruuveja. Yksityiskohdat liitoksista käy ilmi alla olevista kuvioista.

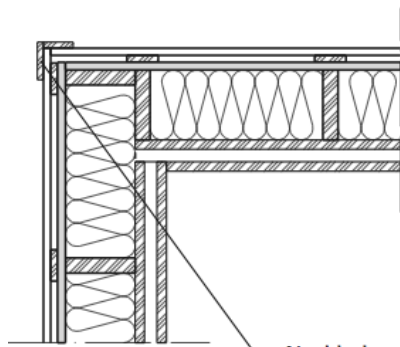
CLT-koetalossa käytettiin puoliponttisaumoissa tiivisteenä 1-komponenttista, kosteuskovettuvaa ja elastista polyuretaanipohjaista saumausmassaa. Massa sopii hyvin ulkokäyttöön myös pakkasella ($> -10^{\circ}\text{C}$) . /19/

Nurkka US1/US1



Kuva 20. CLT koetalon nurkkaliitos ulkoseinissä yksi (1).

Nurkka US2/US2



US2

CLT-levy 30/40/30, 100mm

Lämmöneriste, Ekovilla + vaakarunko 42x98 k 600

Lämmöneriste, Ekovilla + pystyrunko 42x123 k 600

Tuulensuojalevy, Runkoleijona 25

Tuuletusrakorima 22x100 k 600

Ulkoerhouslauta UYW 28x170

Nurkkalaudat 21x120 ja 21x145

Kuva 21. CLT koetalon nurkkaliitos ulkoseinissä kaksi (2).

6 RAKENTEIDEN MITOITUS- JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti RIL 205-1-2009-ohjeeseen tulevia päivityksiä CLT:n mitoituksista ja rakennusmääräyksistä. Ohjeessa kerrotaan CLT:n tarkoitettavan ETA-08/0271 mukaista Stora Enson valmistamaa ristiinliimattua massiivipuulevyä. Ohjeessa esitetyt CLT:n materiaaliarvot ja suunnittelusäännöt ovat ETA:n ja tuotteen Suomen käyttöä varten ohjeeksi annetun käytettävyykslausunnon VTT-S-08104-11 mukaisia.

6.1 Mitoitusperiaatteet

CLT-poikkileikkauksen mitoituksessa huomioidaan kuormia kantavina vain sellaiset kerrokset, joissa laudan syysuunta on samansuuntainen ulkoisten kuormien aiheuttaminen jännitysten kanssa. Leikkausmuodonmuutosten vaikutus on otettava huomioon jännitysten ja levyn sisäisten rasitusten määrittelyssä. CLT-levyn kantavien kerrosten jäykkyyksinä ja ominaislujuuksina käytetään lautojen lujuusluokan ominaisarvoja. /15/

6.1.1 Ominaisarvoja:

CLT:n risteävien lautojen välisen liimasauman vääntöleikkauslujuus

$$f_{tv,k}=2,5 \text{ N/mm}^2$$

CLT:n nettopoikkileikkauksen leikkauslujuus

$$f_{v,net,k}=8,0 \text{ N/mm}^2$$

CLT:n poikittaisen kerroksen tasoleikkauslujuus

$$f_{R,k}= 1,25 \text{ N/mm}^2 \quad \text{kuusi- tai pihtalauta}$$

$$= 1,50 \text{ N/mm}^2 \quad \text{mäntylauta}$$

CLT:n poikittaisen kerroksen tasoleikkausmoduulin keskiarvo

$G_{R,mean} = 50 \text{ N/mm}^2$ kuusi- tai pihtalauta

$= 60 \text{ N/mm}^2$ mäntylauta

7 RAKENNUSFYSIKKA

7.1 Lämmön siirtyminen

Lämpöenergia siirtyy vapaana energiana korkeammasta lämpötilasta alempaan lämpötilaan. Siirtymiseen voi vaikuttaa lämmönlähteet, materiaalit, väliaineet ja ilman virtaus. Lämmön siirtyminen tapahtuu eri tavoilla. Lämpö siirtyy rakennuksessa johtumisen, konvektion ja säteilyn kautta.

Yksi lämmön siirtymisen muoto on johtuminen. Siinä molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Liike-energian muotoja, jotka välittävät siirtymistä ovat atomien tai molekyylien etenevä liike eli translaatio, värähtely, sekä vapaana olevat elektronit. Molekyylit, jotka sisältävät enemmän energiaa, siirtävät sitä molekyylien välisten voimien ja törmäysten välityksellä hitaammille molekyyleille. Vastaavasti myös lämpö on aineen kyky tehdä työtä sisäisen energian perustein. Lämmön virtauksesta voidaan siis puhua, kun johtuminen siirtää sisäistä energiaa paikasta toiseen. /18, 42,43/

Toinen lämmön siirtymisen muoto on konvektio. Konvektiossa lämpö siirtyy kuljettumalla nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Lämpötilaero kiinteän pinnan ja ohi virtaavan väliaineen välillä edesauttaa lämmön siirtymistä konvektiolla pintaan tai siitä pois. Konvektio voidaan jakaa pakotettuun konvektioon ja luonnolliseen konvektioon. Pakotetussa konvektiossa jokin ulkopuolinen **voima**, kuten paine-ero aiheuttaa kaasun tai nesteen virtauksen, kun taas luonnollisessa konvektiossa virtaus syntyy lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista. Puhdasta luonnollista konvektiota esiintyy melko harvoin rakenteissa, koska pakotettuja virtauksia saavat aikaan muun muassa ihmisten liikkeet ja ilmanvaihto. /18, 43,44/

Kolmas lämmön siirtymisen muoto on säteily. Energia siirtyy säteilyssä valon nopeudella liikkuvan sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Sellaiset kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella, lähettävät säteilyä. Korkeamman lämpötilan omaavat kappaleet siirtävät suuremman osan säteilyn energiasta lyhyempään aallonpituuteen päin. Pienihuokoisissa materiaaleissa säteilyn osuus on pieni. /18, 44,45/

7.2 Kosteuden siirtyminen

Rakennuksen ja sen eri rakenteiden kannalta suurimmat kosteudenlähteet ovat ulko- ja sisäilmankosteus, sade, maan kosteus, pintavedet sekä rakennuskosteus. Huokoisessa aineessa olevaa kosteus on vettä, joka voi olla siinä sitoutuneena tai vapaana höyrynä tai nesteinä. /18,100;105/

Kosteus voi siirtyä rakenteissa eri muodoissa ja eri tavalla. Kosteus voi siirtyä vesihöyryn osapaine-erojen vaikutuksesta alemman pitoisuuden suuntaan. Tätä siirtymistapaa kutsutaan diffuusioksi.

Ilmavirran mukana siirtyvää kosteutta kutsutaan konvektioksi. Konvektiossa virtaus voi olla pakotettua, kuten ilmanvaihto, tuuli ja ihmisen liikkeet tai luonnollista, jota esiintyy kuitenkin harvemmin.

Maaperässä ja rakennusmateriaaleissa esiintyy myös kapillaarista virtausta. Kapillaarisuudella virtauksella tarkoitetaan materiaalin kykyä imeä itseensä vettä ja sen kuljettaminen.

Lisäksi kosteus voi siirtyä tuulenpaineen vaikutuksesta tai painovoimaisen veden liikkeestä, joka voi olla sadevesien kulkeutumista.

7.3 D.O.F-tech

D.O.F-techin DOF-lämpö-ohjelmalla voidaan arvioida rakenteen lämpö- ja kosteuskäyriä, U-arvoa, kondensaatiomäärää sekä energiankulutusta. Opinnäytetyönsäni tarkastelin D.O.F-tech-ohjelmalla neljän erilaisen CLT-seinärakenteen käyttäytymistä. Tutkittujen seinärakenteiden leikkauskuvat käyvät ilmi kohdassa 3.CLT:stä kehitettyjä ratkaisuja sekä kohdassa 4.Rakenneratkaisut.

7.3.1 CLT-kennorakenne

DOF-lämpö laskentaohjelmalla tutkin CLT-kennorakenteen toimivuutta. Ohjelma laski kennorakenteen U-arvoksi $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$, joka ei aivan täytä vaadittua $0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoa. Rakenteen paksuudeksi sain 240 mm. Painoon ja hintaan en ottanut kantaa ollenkaan. Liitteessä 1 on myös nähtävissä vesihöyryn vastus ja lämmön-

vastus. Tutkimuksessa käytettiin 3:n päivän kylmintä arvoa, jolloin ulkoilma on -20 °C ja sisäilma +20 °C.

Suhteellinen kosteus rakenteessa on kahden uloimmaisen eristeen kohdalla 100 %. Kosteusmäärä rakenteessa on 3.41 g/m³ ja kyllästymiskosteus 3.15 g/m³. Mikäli rakenne on toimiva kosteusmäärän arvo ei saa ylittää kyllästymiskosteuden arvoa. CLT-kennorakenteessa näin kuitenkin tapahtuu, joten rakenteeseen syntyy mahdollinen kosteus- ja homevaara. Tämä tiivistymisvaara tapahtuu, kun otetaan huomioon ihan pahin mahdollinen tilanne eli vuoden kolme kylmintä päivää. Mikäli tarkasteluajankohtana olisi käytetty koko tammikuuta, niin todennäköisesti tiivistymisongelma olisi jo poistunut. Tästä voidaan päätellä, että rakenne toimii oikein noin 360 vuorokautta vuodessa ja tiivistymistä tapahtuu vain aivan kylmimpinä jaksoina. Jotta tähän voidaan luottaa varmasti, olisi rakenteesta hyvä tehdä vielä uusi tarkastelu D.O.F-tech-ohjelmalla. Mittaustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä 1.

7.3.2 CLT-sandwich

DOF-lämpö laskentaohjelmalla tutkin CLT-sandwichrakenteen toimivuutta. Ohjelma laski sandwichrakenteen U-arvoksi 0.18 W/m²K, joka täyttää melkein vaaditun 0.17 W/m²K arvon. Rakenteen paksuudeksi sain 270 mm. Painoon ja hintaan en ottanut tässäkään tapauksessa kantaa. Liitteessä 2 on myös nähtävissä vesihöyryn vastus ja lämmönvastus. Tutkimuksessa käytettiin 3:n päivän kylmintä arvoa, jolloin ulkoilma on -20 °C ja sisäilma +20 °C.

Kyllästymiskosteuden arvot ovat suurempia kuin kosteusmäärän arvot ja lisäksi suurin suhteellinen kosteus on 90 %, joten tällöin rakenne on täysin toimiva. Mittaustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä 2.

7.3.3 CLT-koetalon ulkoseinä yksi (1)

DOF-lämpö-laskentaohjelmalla tutkin CLT-koetalossa olevan ulkoseinän 1 toimivuutta. Ohjelma laski ulkoseinän U-arvoksi 0.15 W/m²K, joka täyttää vaaditun 0.17 W/m²K arvon. Rakenteen paksuudeksi sain 404 mm. Painoon ja hintaan en

ottanut kantaa ollenkaan. Liitteessä 3 on myös nähtävissä vesihöyryn vastus ja lämmönvastus. Tutkimuksessa käytettiin 3:n päivän kylmintä arvoa, jolloin ulkoilma on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilma $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Suhteellinen kosteus rakenteessa on tuuletusrakorimojen ja eristeen uloimmanreunankohdalla 100 %. Kosteusmäärä rakenteessa on 2.44 g/m^3 ja kyllästymiskosteus $1.00\text{--}1.01\text{ g/m}^3$. Voidaan siis todeta, että ulkoseinässä 1 syntyy mahdollinen kosteus- ja homevaara. Tämä tiivistymisvaara tapahtuu vain silloin, kun otetaan huomioon ihan pahin mahdollinen tilanne eli vuoden kolme kylmintä päivää. Mikäli tarkasteluajankohtana olisi käytetty koko tammikuuta, niin todennäköisesti tiivistymisongelma olisi poistunut. Tästä voidaan päätellä, että rakenne toimii oikein noin 360 vuorokautta vuodessa ja tiivistymistä tapahtuu vain aivan kylmimpinä jaksoina. Jotta tähän voidaan luottaa varmasti, olisi rakenteesta hyvä tehdä vielä uusi tarkastelu D.O.F-tech-ohjelmalla. Mittaustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä 3.

7.3.4 CLT-koetalon ulkoseinä kaksi (2)

DOF-lämpö-laskentaohjelmalla tutkin CLT-koetalossa olevan ulkoseinän 2 toimivuutta. Ohjelma laski ulkoseinän U-arvoksi $0.26\text{ W/m}^2\text{K}$, joka ei täytä vaadittua $0.17\text{ W/m}^2\text{K}$ arvoa. Rakenteen paksuudeksi sain 259 mm. Painoon ja hintaan en ottanut kantaa ollenkaan. Liitteessä 4 on myös nähtävissä vesihöyryn vastus ja lämmönvastus. Tutkimuksessa käytettiin 3:n päivän kylmintä arvoa, jolloin ulkoilma on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilma $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Suhteellinen kosteus rakenteessa on tuuletusrakoriman, tuulensuojalevyn ja eristeen uloimmanreunankohdalla 100 %. Kosteusmäärä rakenteessa on $2.33\text{--}3.00\text{ g/m}^3$ ja kyllästymiskosteus $1.12\text{--}1.80\text{ g/m}^3$. Koska kosteust määrän arvo ylittää kyllästymiskosteuden, voidaan todeta, että ulkoseinässä 2 syntyy mahdollinen kosteus- ja homevaara. Tämä tiivistymisvaara tapahtuu vain silloin, kun otetaan huomioon ihan pahin mahdollinen tilanne eli vuoden kolme kylmintä päivää. Mikäli tarkasteluajankohtana olisi käytetty koko tammikuuta, niin todennäköisesti tiivistymisongelma olisi poistunut. Tästä voidaan päätellä, että rakenne toimii oikein noin 360 vuorokautta vuodessa ja tiivistymistä tapahtuu vain aivan kylmimpinä

jaksoina. Jotta tähän voidaan luottaa varmasti, olisi rakenteesta hyvä tehdä vielä uusi tarkastelu D.O.F-tech-ohjelmalla. Mittaustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteenä 4.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni halusin tutustua Suomessa vielä melko tuntemattomaan rakennusmateriaaliin CLT:hen. Aiheena CLT oli melko hankala, koska siitä ei ole vielä kovin paljon tietoa eikä kokemusta. Sain tehdä opinnäytetyöni Kemlin Ammattiopisto Lappialle, jossa on avattu Suomen ensimmäinen CLT-levytehdas. Lappialta sain toimeksiannon, jossa he halusivat minun tutkivan CLT-koetalon rakenteita ja liitoksia sekä esittävän uusia CLT:stä kehitettyjä rakenteita. Opinnäytetyön rungolle ja sisällölle sain kuitenkin melko vapaat kädet, joten halusin myös tutkia yleisesti CLT:n käyttäytymistä rakennusmateriaalina sekä tutustua CLT kohteisiin niin Suomessa kuin muualla maailmassa.

Aloittaessani opinnäytetyöprosessini tutustuin kaikkiin mahdollisiin suomenkielisiin aineistoihin, jotta löytäisin mahdollisimman laajasti tietoa CLT-rakentamisesta. Ammattiopisto Lappialta sain runsaasti materiaaleja ja heidän tekemien kokeiden tuloksia, joita pystyin vertailemaan omiin tutkimuksiin. Projektin alussa pääsin tutustumaan Ammattiopisto Lappian CLT-levytehtaaseen, jossa valmistetaan CLT-elementit alusta loppuun. Tehtaalla pääsin näkemään kaikki tuotantokoneet sekä niiden kanssa työskentelyn. Tämä oli antoisa osa projektia ja näin pääsin lähemmäs CLT:n maailmaa.

CLT-koetalon seinärakenteista ja uusista CLT:stä kehitetyistä seinärakenteista halusin tehdä lämmön ja kosteuden siirtymiskokeet D.O.F-tech-ohjelmalla. D.O.F-tech-ohjelma on melko yksinkertainen. Ohjelmaan saa syötettyä seinärakenteen yksityiskohtaisesti, sitä pystyy muokkaamaan haluamallaan tavalla ja sillä näkee hyvin onko seinärakenne toimiva.

Liitokset ovat CLT-rakentamisessa tärkeä osa ja siksi käsittelinkin yhdessä luvussa CLT:n yleisimpiä liitoskiinnityksiä. Luvussa tarkastelin myös CLT-koetalon liitoksia ja niiden toimivuutta. Nurkkaliitokset onnistuivat koetalossa moitteettomasti, mutta alapohjan ja seinän liitoksessa on havaittavissa mahdollinen kylmäsilta. Jotta kylmäsilta voitaisiin sulkea kokonaan pois, täytyisi liitoksesta tehdä lisää kokeita.

Opinnäytetyössäni käsittelin myös RIL 205-1-2009-ohjeeseen tulevia päivityksiä CLT-rakenteiden mitoitus- ja rakennusmääräyksistä. Ohjeet tulevat koskemaan CLT:n käyttöä tavanomaisimmissa mekaanisin liittimin koottavissa käyttöluokan 1 ja 2 puurakenteissa.

Opinnäytetyössäni käytetyt lähteet ovat pääasiassa peräisin internetistä ja ammattikirjallisuudesta. Internetistä etsimäni lähteet ovat luotettavilta sivuilta, kuten Puuinfon, Ammattiopisto Lappian ja Stora Enson sivuilta. Mielestäni onnistuin kokoamaan kattavan tietopaketin CLT-rakentamisesta.

LÄHTEET

- /1/ Kiintopuu. CLT Rakentaminen. Viitattu 14.10.2014.
<http://www.kiintopuu.fi/>
- /2/ Ammattiopisto Lappia. Aikuiskoulutus ja työelämäpalvelut. Mikä on CLT? Viitattu 14.10.2014. <http://www.lappia.fi/Suomeksi/Aikuiskoulutus-ja-tyoelamapalvelut/Tyoelaman-kehittamispalvelut/Hankkeet/Teknologia-ja-teollisuus/CLT/Mika-on-CLT>
- /3/ Woodpolis. Lehdistötiedote 29.1.2014. Viitattu 14.10.2014.
<http://www.woodpolis.fi/binary/file/-/id/3/fid/657>
- /4/ Puuinfo, CLT Ristiinliimattu massiivipuu. Viitattu 14.10.2014.
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>
- /5/ Puuinfo, Stora Enson CLT-levyt. Viitattu 14.10.2014.
<http://www.puuinfo.fi/tuotteet/stora-enson-clt-levyt-cross-laminated-timber>
- /6/ Puurakentajat. Viitattu 15.10.2014. <http://www.puurakentajat.fi/miksi-clt-talo/>
- /7/ Innomac, Ensimmäiset suomalaiset CLT-levyt valmistuivat Kemissä. Viitattu 5.11.2014. <http://www.innomac.fi/ensimmaiset-suomalaiset-clt-levyt-valmistuivat-kemissa>
- /8/ Metsälehti, Suomen ensimmäinen CLT-tehdas aloittaa Kuhmossa. Viitattu 5.11.2014. <http://www.metsalehti.fi/Metsalehti/Metsauutiset/2014/3/Suomen-ensimmainen-CLT-tehdas-aloittaa-Kuhmossa>
- /9/ Haltia, CLT Cross laminated timber. Viitattu 5.11.2014.
<http://www.haltia.com/haltia-suomen-luontokeskus/puurakentaminen/clt/>
- /10/ Lakea, Suomen korkeimman CLT-puukerrostalon rakentaminen alkaa seinäjoella. Viitattu 5.11.2014. http://www.lakea.fi/Suomen_korkein_CLT-puukerrostalo_Seinajoelle
- /11/ Wood City, Puurakentaminen. Viitattu 6.11.2014.
<http://www.woodcity.fi/wood-city/>
- /12/ Puuinfo, Stora Enson CLT-levyt. Viitattu 6.11.2014.
<http://www.puuinfo.fi/tuotteet/stora-enson-clt-levyt-cross-laminated-timber>
- /13/ Tekniikka & Talous. Viitattu 21.11.2014.
<http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus/puisten+pilvenpiirtäjien+rakennusbuumi+on+alkanut>

- /14/ Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.11.2014.
<http://sepro.velemu.fi/index.php?topic=55&story=506>
- /15/ CLT päivitykset RIL 205-1-009 ohjeeseen. Viitattu 21.11.2014. RIL 205-1-2009 CLT päivitykset
- /16/ Crosslam. Viitattu 24.11.2014.
<http://www.crosslam.fi/filosofia/paikalliset-juuret-kuhmossa.html>
- /17/ Kesän Sauna. Viitattu 15.12.2014.
<http://www.kesansauna.fi/inspiraatio/kuvagalleria-saunan-valmistuminen/#jp-carousel-922>
- /18/ Lämmön- ja kosteudeneristys RIL 155, Gummerus Osakeyhtiön kirjapainossa, Jyväskylä 1984. Viitattu 20.12.2014
- /19/ Kiintopuu. Viitattu 8.1.2015, <http://www.kiintopuu.fi/fi/tilannekatsaus/clt-koetalon-kuvasarjat.html>
- /20/ Energiatehokas koti. Viitattu 8.1.2015,
http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/kylmasillat
- /21/ Helsingin Sanomat. Viitattu 16.1.2015,
<http://www.hs.fi/kotimaa/a1416111843440>
- /22/ Metsähallitus. Viitattu 18.1.2015,
<http://www.metsa.fi/sivustot/metsa/fi/Hankkeet/SuomenluontokeskusHaltia/Sivut/SuomenluontokeskusHaltiauudenaikaistapuurakentamista.aspx>
- /23/ Iltalehti. Viitattu 18.1.2015, <http://www.iltasanomat.fi/asuminen/art-1288686927111.html>
- /24/ CLT Kiintopuu. Viitattu 14.10.2014,
<http://www.kiintopuu.fi/fi/koetalohanke.html>
- /25/ Ammattiopisto Lappia. kuva otettu syyskuussa 2014 ,Viitattu 31.10.2014

LIITE 1

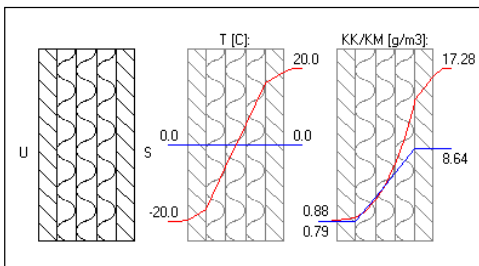
CLT-Kennorakenne

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	CLT Kennorakenne	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
	12/17/2014	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.187 W/m²K
 Paksuus: 240.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 0.00 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 93750009000.000
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000000 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.362 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 CLT (15+15+15)	45.00	0.1200	1.000000e-05	0.00	0.00
2 Finnfoam	50.00	0.0340	1.600000e-12	0.00	0.00
3 Finnfoam	50.00	0.0340	1.600000e-12	0.00	0.00
4 Finnfoam	50.00	0.0340	1.600000e-12	0.00	0.00
5 CLT (15+15+15)	45.00	0.1200	1.000000e-05	0.00	0.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.48	0.92	0.79	86.1	0.00
2	-16.68	1.18	0.79	67.0	0.00
3	-5.71	3.15	3.41	100.0	0.00
4	5.26	6.97	6.02	86.5	0.00
5	16.23	13.85	8.64	62.4	0.00
6	19.03	16.33	8.64	52.9	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

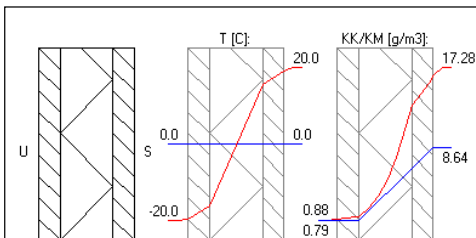
LIITE 2

CLT-Sandwich

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	CLT-sandwich	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
	11/28/2014	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.178 W/m ² K
Paksuus:	270.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	131250006000.000
Vesih. läpäisykerroin:	0.000000 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	5.612 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.070 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	CLT (20+20+20)	60.00	0.1200	1.000000e-05	0.00	0.00
2	Finnfoam	150.00	0.0340	1.600000e-12	0.00	0.00
3	CLT (20+20+20)	60.00	0.1200	1.600000e-12	0.00	0.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.50	0.91	0.79	86.3	0.00
2	-15.94	1.26	0.79	62.5	0.00
3	15.51	13.26	6.40	48.2	0.00
4	19.07	16.38	8.64	52.8	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

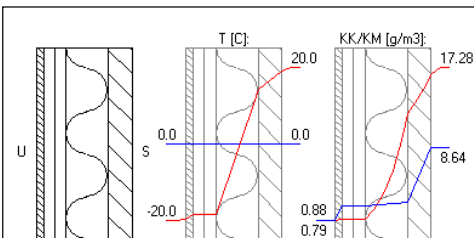
LIITE 3

CLT-Koetalon ulkoseinä yksi (1)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
CLT Koetalo	US 1	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
	12/15/2014	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.149 W/m ² K
Paksuus:	404.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	13276.200 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000075 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	6.697 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.070 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Ulkoverhouslaata	28.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	0.00
2 Tuuletusrakorima	48.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
3 Tuuletusrakorima	48.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
4 Tuulensuojaeriste, P	180.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	0.00
5 CLT (30/40/30)	100.00	0.1200	1.000000e-05	0.00	0.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.58	0.91	0.79	86.9	0.00
2	-18.39	1.00	2.44	100.0	0.00
3	-18.36	1.01	2.44	100.0	0.00
4	-18.33	1.01	2.44	100.0	0.00
5	14.25	12.29	2.73	22.2	0.00
6	19.22	16.52	8.64	52.3	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

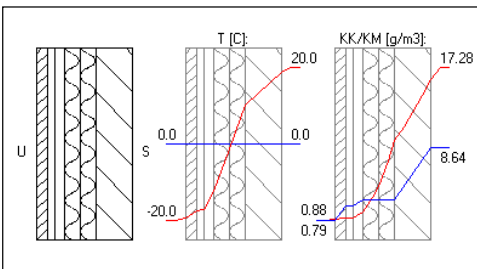
LIITE 4

CLT-Koetalon ulkoseinä kaksi (2)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
CLT Koetalo	US 2	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
	11/28/2014	

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.258 W/m ² K
Paksuus:	259.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	0.00 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	14229.954 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000070 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.870 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.070 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot:

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Ulkoverhouslaata	28.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	0.00
2 Tuuletusrakorima	22.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
3 Tuulensuojalevy, Run	25.00	0.0520	2.070000e-05	0.00	0.00
4 Ekovilla + pystyrunk	42.00	0.0390	3.780000e-04	0.00	0.00
5 Ekovilla + vaakarunk	42.00	0.0390	3.780000e-04	0.00	0.00
6 CLT (30/40/30)	100.00	0.1200	1.000000e-05	0.00	0.00

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.28	0.93	0.79	84.8	0.00
2	-17.21	1.12	2.33	100.0	0.00
3	-17.19	1.12	2.33	100.0	0.00
4	-12.22	1.80	3.00	100.0	0.00
5	-1.09	4.48	3.06	68.3	0.00
6	10.04	9.48	3.12	33.0	0.00
7	18.66	15.98	8.64	54.1	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus